

Физика 9–11

Публикуемая ниже заметка «Как Студент на сверхзвук выходил» предназначена девятиклассникам, заметка «Где найти прошлогдную зиму?» – десятиклассникам и «Хочешь общаться – излучай» – одиннадцатиклассникам.

Как Студент на сверхзвук выходил

А. СТАСЕНКО

Не делай ничего наугад, а только по правилам искусства.

Марк Аврелий

В НОЧЬ ПЕРЕД ЭКЗАМЕНОМ ПО аэродинамике приснился Студенту страшный сон – будто, падая с кровати, достиг он сверхзвуковой скорости. Вскочив в холодном поту, задумался Студент: в самом деле, с какой высоты нужно упасть, чтобы достичь сверхзвука в атмосфере Земли? Вопрос не праздный – ведь этот можно было бы обойтись без аэродинамических труб, требующих большой мощности для разгона воздуха! И еще преимущество: поток воздуха в аэродинамической трубе неизбежно турбулентный (возмущенный), а в атмосфере турбулентность естественная, может быть, как раз такая, как в реальном полете. И еще важное соображение: исследуемое тело, например самолет или его модель, может быть любых размеров, в отличие от (поневоле) малых размеров в трубе. И

еще... Но и перечисленных прелестей казалось достаточно, чтобы Студент с воодушевлением взялся за физические оценки.

Еще в школе он знал, что тело, сброшенное с высоты l , достигает (в вакууме) скорости (рис.1, слева)

$$v_0 = \sqrt{2gl}. \quad (1)$$

Значит, чтобы достичь скорости порядка 330 м/с, высота должна быть равна

$$l = \frac{v_0^2}{2g} \approx \frac{(3,3 \cdot 10^2)^2}{2 \cdot 10} \text{ м} \approx 5 \text{ км}.$$

(Конечно, не обязательно падать вертикально: можно, привязав тело к нити длиной l , достичь той же скорости в нижней точке колебаний. Что гораздо лучше: опыт будет снова и снова повторяться, пока продолжатся коле-

бания – в отличие от одноразового падения вниз.)

Но в вакууме никакого звука нет – значит, нет и понятия сверхзвукового движения. А воздух будет оказывать сопротивление движению, и качественно ясно, что начальная высота, падая с которой тело может достичь сверхзвуковой скорости, должна быть больше полученной выше оценки. И, значит, на таких масштабах плотность атмосферы ρ уже не придется считать постоянной величиной (см. рис.1, справа) – об этом отлично знают альпинисты.

Силу сопротивления можно описать, исходя из соображений размерностей:

$$F = C \frac{\rho v^2}{2} S. \quad (2)$$

Здесь $\rho v^2/2$ – так называемый скоростной напор (он имеет размерность давления), S – характерная площадь тела, например его лобового сечения. А вот C – это безразмерный коэффициент сопротивления, который теория размерностей, естественно, «не чувствует». Ради его измерения и построены во всем мире мощные аэродинамические трубы, ради него Студент и задумался.

Так возник Проект Экспериментальной Установки.

Возьмем невесомую нерастяжимую нить длиной l , подвесим на ней сверхзвуковой авиалайнер (например, ТУ-144) или истребитель массой m и, приведя этот «математический маятник» в горизонтальное положение, отпустим (см. рис.1, в центре). Потенциальная энергия самолета в любой точке его траектории, характеризующейся углом φ , равна

$$mgl(1 - \cos \varphi).$$

Проверим: в начальной точке, когда $\varphi = -\pi/2$, $\cos \varphi = 0$ и эта энергия равна mgl , а при $\varphi = 0$ (в самой нижней точке траектории) она равна нулю.

Не будь потерь энергии на сопротивление, суммарная механическая энергия сохранялась бы (собственно, из этого условия и найдена скорость v_0 в формуле (1)):

$$m \left(\frac{v^2}{2} + gl(1 - \cos \varphi) \right) = mgl. \quad (3)$$

Но если есть сила сопротивления, то суммарная механическая энергия колеблющегося тела будет убывать. Работа силы сопротивления на неболь-

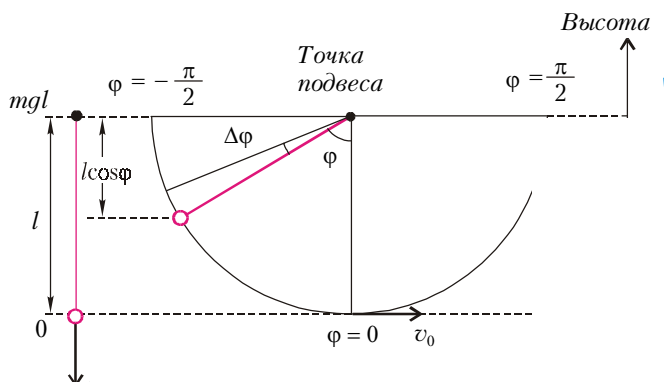


Рис. 1